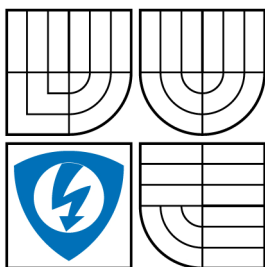


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## OBSLUŽNÝ SW PRO ANALYZÁTOR HP 89410A

CONTROL SOFTWARE FOR ANALYZER HP 89410A

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

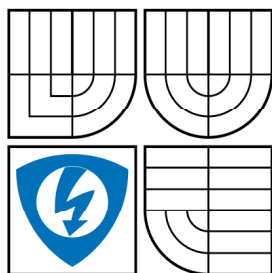
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAN CACEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. JIŘÍ KEPRT

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí  
techniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Automatizační a měřicí technika

**Student:** Cacek Jan  
**Ročník:** 3

**ID:** 83872  
**Akademický rok:** 2007/2008

## NÁZEV TÉMATU:

**Obslužný SW pro analyzátor HP 89410A**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s vývojovým prostředím LabVIEW a s analyzátozem HP 89410A. Prozkoumejte možnosti konfigurace a využití analyzátoru. Samostatně nastudujte obsluhu analyzátoru a způsob jeho ovládání přes GPIB. V prostředí LabVIEW realizujte měřicí a řídicí SW pro tento analyzátor. Proveďte validační měření.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

manuál LabVIEW  
manuály k HP 89410A

**Termín zadání:** 1.2.2008

**Termín odevzdání:** 2.6.2008

**Vedoucí práce:** Ing. Jiří Kepřt

**prof. Ing. Pavel Jura, CSc.**  
*předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

# LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

## 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jan Cacek

Bytem: Staré Ransko 134, Ždírec nad Doubravou, 582 63

Narozen/a (datum a místo): 30.4.1985, Havlíčkův Brod

(dále jen „autor“)

a

## 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

(dále jen „nabyvatel“)

## Čl. 1 Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
  - ☐ diplomová práce
  - ☐ bakalářská práce
  - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Obslužný SW pro analyzátor HP 89410A

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jiří Keprt

Ústav: Automatizace a měřicí techniky

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v\*:

- ☐ tištěné formě – počet exemplářů 1
- ☐ elektronické formě – počet exemplářů 1

---

\* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## **Článek 2**

### **Udělení licenčního oprávnění**

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
  - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
  - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
  - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
  - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## **Článek 3**

### **Závěrečná ustanovení**

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na vytvoření obslužného softwaru spektrálního analyzátoru HP 89410A. První část poskytuje přehled vlastností analyzátoru a princip komunikace pomocí sběrnice GPIB, druhá část slouží k uvedení do problematiky způsobu grafického programování a také jako manuál k obslužnému softwaru s vysvětlením významu jednotlivých položek. V poslední, třetí části je uveden příklad validačního měření pro ověření funkčnosti softwaru.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Spektrální analyzátor, HP 89410A, obslužný software, LabVIEW

## **ABSTRACT**

Bachelor's thesis is bent on creation control software for spectral analyzer HP 89410A. The first part offers overview capabilities of the analyzer and principle communication over the GPIB, second part serves to presentation to the problems graphical programming method and either as manual to control software with explanation of meaning individual entries. At last third part is introduced example of validation measure for check functionality software.

## **KEYWORDS**

Spectral Analyzer, HP 89410A, Control Software, LabVIEW

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

CACEK, J. *Obslužný SW pro analyzátor HP 89410A*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Keprt.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Obslužný SW pro analyzátor HP 89410A“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto semestrálního projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení §11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení §152 trestního zákona č. 140/ 1961 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Keprtovi za velmi užitečnou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce.



## **OBSAH**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. ÚVOD .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>2. SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTORY.....</b>  | <b>12</b> |
| <b>3. SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTOR HP 89410A .....</b>  | <b>13</b> |
| 3.1 Pracovní režimy analyzátoru ( <i>Instrument mode</i> ) .....                             | 14        |
| 3.1.1 Skalární mód .....   | 14        |
| 3.1.2 Vektorový mód .....  | 15        |
| 3.1.3 Mód analogové demodulace .....   | 16        |
| 3.2 Parametry analyzátoru HP 89410A.....   | 16        |
| 3.2.1 Rozlišovací schopnost ( <i>Resolution Bandwidth, RBW</i> ) .....                       | 16        |
| 3.2.2 Typ okna ( <i>Window</i> ) .....   | 17        |
| 3.3 Časový záznam dat ( <i>time Capture data</i> ).....                                      | 18        |
| 3.4 Technické parametry HP 89410A.....   | 19        |
| <b>4. GPIB (STANDARD IEEE 488.2).....</b>  | <b>20</b> |
| 4.1 Komunikace v GPIB .....  | 20        |
| 4.2 Zprávy .....   | 20        |
| 4.2.1 Místní zprávy .....  | 20        |
| 4.2.2 Dálkové zprávy .....   | 21        |
| 4.3 Vlastnosti GPIB .....  | 21        |
| <b>5. PROGRAMOVÉ PROSTŘEDÍ LABVIEW.....</b>  | <b>22</b> |
| 5.1 Připojení měřicího přístroje k PC .....  | 22        |
| 5.2 Ovladač analyzátoru HP 89410A.....   | 23        |
| 5.3 VISA .....   | 23        |
| <b>6. OBSLUŽNÝ SW ANALYZÁTORU HP 89410A .....</b>  | <b>24</b> |
| 6.1 Vlastnosti obslužného programu.....  | 24        |
| 6.2 Základní princip obslužného SW .....   | 25        |
| 6.3 Nastavení parametrů měření .....   | 26        |
| 6.3.1 Pracovní režim analyzátoru ( <i>Instrument Mode</i> ) .....                            | 27        |
| 6.3.2 Frekvenční rozsah ( <i>Frequency span</i> ) .....                                      | 28        |
| 6.3.3 Rozlišovací schopnost ( <i>Resolution Bandwidth</i> ), typ okna ( <i>Window</i> )..... | 29        |
| 6.3.4 Rozsahy vstupních kanálů ( <i>Range</i> ) .....  | 30        |

|  |           |
|--|-----------|
| 6.3.5 Vlastnosti vstupního kanálu ( <i>Input</i> ) .....           | 31        |
| 6.3.6 Generátor signálu ( <i>Source</i> ) .....                    | 32        |
| 6.3.7 Průměrování měření ( <i>Average</i> ) .....                  | 34        |
| 6.3.8 Spouštění analyzátoru ( <i>Trigger</i> ) .....               | 35        |
| 6.3.9 Měření na zvolené frekvenci ( <i>Sweep</i> ) .....           | 36        |
| 6.3.10 Měření vybrané části signálu ( <i>Time Gating</i> ) .....   | 37        |
| 6.3.11 Paměť analyzátoru .....                                     | 38        |
| 6.4 Zobrazení výsledků .....                                       | 39        |
| 6.4.1 Výběr aktivní trasy ( <i>Active Trace</i> ) .....            | 39        |
| 6.4.2 Vlastnosti trasy ( <i>Display</i> ) .....                    | 39        |
| 6.4.3 Nastavení jednotek ( <i>Units</i> ) .....                    | 40        |
| 6.4.4 Definice matematických funkcí ( <i>Math Function</i> ) ..... | 40        |
| 6.5 Ukazatele a jejich vlastnosti .....                            | 41        |
| 6.5.1 Měřicí a offset ukazatel .....                               | 41        |
| 6.5.2 Speciální ukazatele ( <i>Band Power</i> ) .....              | 42        |
| 6.5.3 Vyhledávání v měřeném spektru ( <i>Marker Action</i> ) ..... | 43        |
| <b>7. VALIDAČNÍ MĚŘENÍ .....</b>                                   | <b>45</b> |
| 7.1 Schéma měření .....  | 45        |
| 7.2 Nastavení parametrů měření .....                               | 45        |
| 7.3 Naměřené výsledky .....  | 46        |
| 7.4 Zhodnocení měření .....  | 47        |
| <b>8. ZÁVĚR .....</b>  | <b>48</b> |
| <b>9. LITERATURA .....</b>   | <b>49</b> |
| <b>10. SEZNAM PŘÍLOH .....</b>                                     | <b>50</b> |

## 1. ÚVOD

Pro splnění cíle zadání je nutné nastudovat mnoho znalostí o spektrálním analyzátoru HP 89410A, vývojovém prostředí LabVIEW 7.1, ve kterém by měl být obslužný software vytvořen a principu sběrnice GPIB, použité ke komunikaci s přístrojem.

Znalosti o analyzátoru HP 89410A lze čerpat z přiložených manuálů, ze kterých je nutné seznámit se s obsluhou přístroje a jednotlivými parametry ovlivňujícími způsob, jakým jsou měřené výsledky získány a zobrazeny. Dále je třeba nastudovat význam jednotlivých příkazů, s jejichž pomocí je analyzátor ovládán ze vzdáleného počítače.

Při komunikaci přístroje s počítačem je využita sběrnice GPIB, což vede k nutnosti pochopit princip této sběrnice a její specifikace. V podstatě je analyzátor připojen k PC přes rozhraní USB s převodníkem na sběrnici GPIB, takže je výhodné pro hlubší pochopení komunikace prozkoumat i princip tohoto převodníku.

Pro seznámení s programovacím prostředím LabVIEW je třeba osvojit si způsob programování v grafickém prostředí vytvořením několika jednoduchých aplikací. K vytvoření komunikace s přístrojem je nutné nastudovat informace o ovladačích VISA, implementovaných v LabVIEW a využívaných pro komunikaci s různými typy přístrojů. Pro zjednodušení tvorby programu jsou použity ovladače, dostupné na [www](http://www) stránkách výrobce analyzátoru a obsahují sady předdefinovaných příkazů k ovládání přístroje.

Po nabytí teoretických znalostí je třeba v laboratoři praktickým zkoušením vytvořit a odladit zadaný obslužný software. Funkčnost ovládacího softwaru musí být ověřena validačním měřením.

## 2. SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTORY

Spektrální analyzátory mají za úkol získat velikost složek diskrétního spektra ve frekvenční oblasti nebo průběh spektrální hustoty u spektra spojitého. Význam těchto přístrojů je takový, že sledování složitých signálů je v časové oblasti málo přehledné, naopak v kmitočtové oblasti je sledování takových signálů jednodušší.

Spektrální analyzátory se podle způsobu zpracování signálu dělí na:

- sériové (postupné)
- paralelní

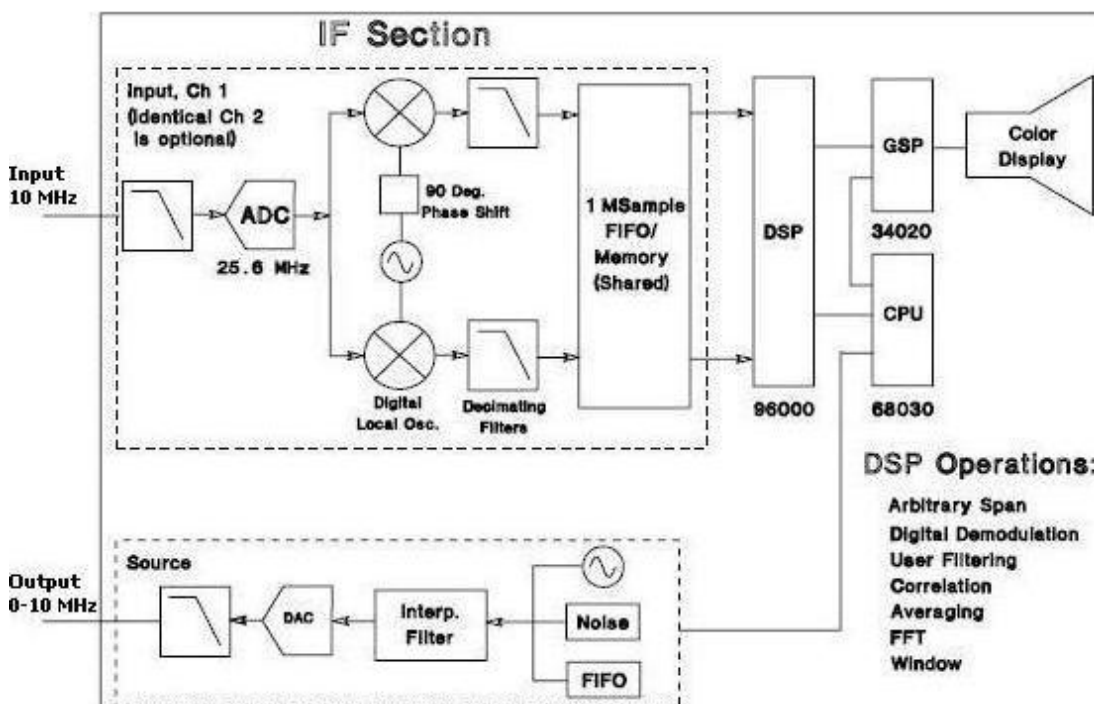
Sériové analyzátory získávají informace o spektru na různých kmitočtech v různém čase. Jsou vhodné především k měření signálů, jejichž statistické parametry se v čase nemění tzv. stacionární signály. Do této skupiny samozřejmě patří periodické průběhy. Tyto analyzátory mají výhodu jednoduché obvodové konstrukce, schopnosti změřit celé frekvenční pásmo a nevznikají rušivé produkty od směšování. Bohužel mají nízké rozlišení podél frekvenční osy a mají celkem malou citlivost. Do této skupiny patří analyzátory s laděným filtrem nebo superheterodynní (rozmítané) analyzátory.

Paralelní analyzátory získávají informace o spektru na různých kmitočtech v průběhu stejného časového okamžiku. Měřený signál je používán i během vlastní analýzy, a není pro účely analýzy ztracen. Tyto typy jsou vhodné pro měření nestacionárních průběhů a určování spektrogramu. Výhodou těchto analyzátorů je jejich rychlost, ale jsou konstrukčně náročné, nelze měnit frekvenční rozsah a rozlišení je pevně dáno filtry. Mezi tyto přístroje patří multikanálové a DFT spektrální analyzátory.

### 3. SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTOR HP 89410A

Analyzátor 89410A firmy Hewlett Packard patří do skupiny FFT analyzátorů s číslicovou filtrací a kmitočtovou lupou, která ve vektorovém módu umožňuje zúžit pásmo od 0 (ss signál) do 10 MHz (maximální šířka pásma). Blokové schéma měřicího kanálu je zobrazeno na obr.3.1. Nejdůležitější částí analyzátoru je 16-bitový A/D převodník o rychlosti 25,6 MSample/s, pro modul AY9 lze do paměti typu FIFO uložit milion vzorků vstupního signálu. Změřené výsledky lze uložit na 3,5“ floppy disk nebo při ovládání přes GP-IB sběrnici, případně síť LAN, lze výsledky uložit a zobrazit přímo v PC. Volbou způsobu zobrazení (*display*) lze naměřené výsledky okamžitě porovnávat pomocí 4 rastrů. Analyzátor obsahuje také doplňkový druhý vstupní kanál (10MHz) k porovnání dvou signálů a generátor signálu, který dovoluje vygenerovat libovolný signál o 8192 bodech (*arbitrary source*).

Přístrojem lze měřit komplexní spektrum ve velkém kmitočtovém rozsahu, při použití doplňkového modulu ve vektorovém módu je možné měřit číslicově modulované signály a v módu analogové demodulace umožňuje získání modulovaného signálu.



Obrázek 3.1 Blokové schéma analyzátoru HP 89410A [1]

### 3.1 PRACOVNÍ REŽIMY ANALYZÁTORU (*INSTRUMENT MODE*)

Analyzátor poskytuje 3 základní režimy práce:

1. skalární mód
2. vektorový mód
3. mód analogové demodulace

Tyto základní režimy je možné ještě rozšířit dokoupením speciálních modulů (Vector Modulation Analysis, Digital Wideband Analysis, ...). Některé tyto speciální moduly však vyžadují dokoupení dalších modulů, např. větší paměti pro uložení vzorků signálu.

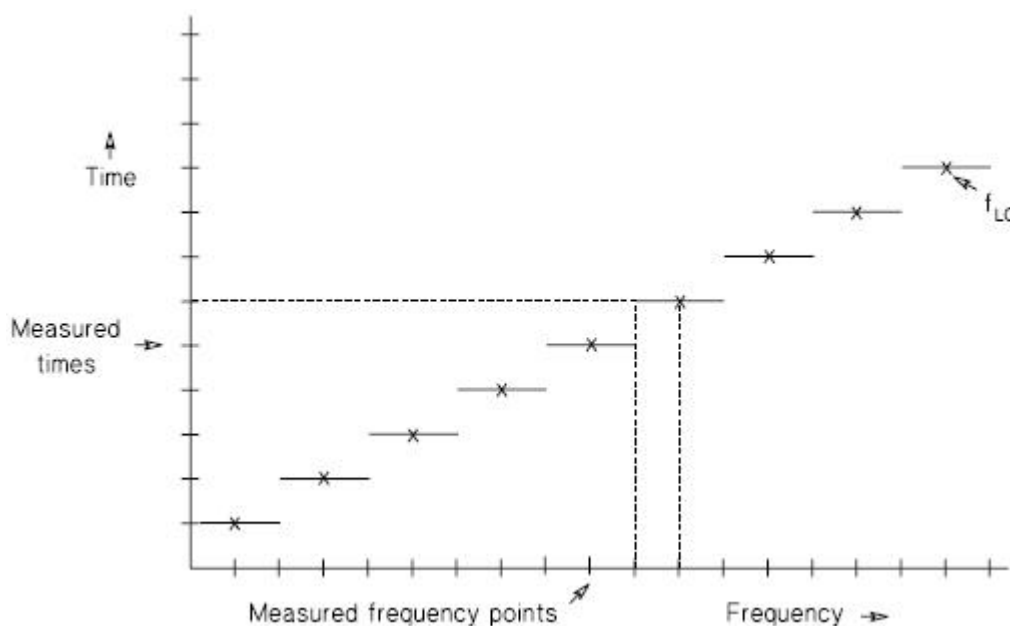
#### 3.1.1 Skalární mód

Zobrazuje amplitudové spektrum pro malé i velké rozsahy podobně jako u analogových spektrálních analyzátorů, ale výsledků dosáhne mnohem rychleji. Celková rychlost měření je ovlivněna především časem pro získání dat a FFT výpočtem. Tento režim používá metodu stupňovitého výpočtu FFT, která v průběhu měření skokově mění frekvenci lokálního oscilátoru a měří více frekvenčních bodů najednou (viz obr.3.2). Počítá tak několik dílčích FFT, které poté sloučí do jedné stopy.

Rozlišovací schopnost je dána frekvenčním rozsahem a počtem frekvenčních bodů. Pokud lokální oscilátor pro daný frekvenční rozsah musí krokovat více než jednou, je nejmenší rozlišení 300 kHz, pokud ale není potřeba funkce lokálního oscilátoru pro daný frekvenční rozsah, je dána rozlišovací schopnost vztahem:

$$RBW_{MAX} = 0.3 \cdot \text{frekvenční rozsah} \quad (3.1)$$

Pokud je potřeba zjistit amplitudy zvolených frekvencí, poskytuje analyzátor funkci *Manual Sweep*, není třeba měřit celý kmitočtový rozsah, což má za následek výrazné zrychlení měření.



**Obrázek 3.2 Měření metodou stupňovité FFT [1]**

Skalární mód je používán při potřebě:

- velkého dynamického rozsahu poměru signál/šum
- měření na širokém frekvenčním rozsahu s nízkou úrovní šumu
- měření na rozsazích větších než 7 MHz
- volby kmitočtového rozsahu, frekvenčního rozlišení a rychlosti

### 3.1.2 Vektorový mód

Poskytuje velmi rychlé měření amplitudy a fáze složek kmitočtového spektra, bohužel za cenu nižšího rozlišení než ve skalárním módu, které je navíc závislé na délce časového záznamu signálu. Pro vysoké rozlišení je třeba delší časový záznam a měření tudíž trvá déle. Proto je tento mód vhodný využívat pro rychlá měření úzkého frekvenčního pásma s vysokým rozlišením a je také vhodný pro měření nestacionárních signálů a analýzu přechodových dějů (pro usnadnění analýzy krátkých přechodových dějů lze využít časového záznamu – funkce *Time Capture*)

Při požadavku zobrazení dat jako na osciloskopu je nutné nastavit analyzátor do módu základního pásma (*baseband mode*), což je měření začínající od 0 Hz (nesmí být explicitně nastavena střední frekvence lokálního oscilátoru). Při

explicitním nastavení střední frekvence nebo stisknutím tlačítka [zoom/baseband] přejde analyzátor do módu kmitočtové lupy (*zoom*) a data jsou zobrazena relativně ke střední frekvenci lokálního oscilátoru, ne k frekvenci 0 Hz. Pro kvalitnější obraz časového průběhu signálu lze vypnout anti-aliasing filtry v menu [Input]. Data v módu základního pásma jsou reálná čísla, v módu lupy jsou data komplexní.

Vektorový mód je používán při potřebě:

- měření frekvenční oblasti po určitou dobu
- měření v časové doméně
- měření fáze
- rychle změřit úzký frekvenční rozsah

### 3.1.3 Mód analogové demodulace

Amplitudově, frekvenčně a fázově modulované signály se skládají ze signálů o vysoké frekvenci (nosné) a signálu s nízkou frekvencí (audio, video signály nebo data), kterou lze modulovat nosnou. Díky módu analogové demodulace lze z těchto signálů odebrat nosnou a získat tak původní užitečné signály.

## 3.2 PARAMETRY ANALYZÁTORU HP 89410A

Kvalitu a rychlost měření je možné ovlivnit čtyřmi základními parametry, a to rozlišovací schopností (RBW), frekvenčním rozsahem, délkou časového záznamu, zvolením typu okna a také proměnné rozlišení obrazovky, které ovlivňuje spíše vnímání zobrazených výsledků.

### 3.2.1 Rozlišovací schopnost (*Resolution Bandwidth, RBW*)

Jeden z nejdůležitějších parametrů analyzátoru ovlivňující měření je rozlišovací schopnost, která určuje schopnost analyzátoru odlišit od sebe dvě nejbližší frekvence a má velký vliv na rychlost měření.

Implicitně volí analyzátor rozlišení automaticky podle frekvenčního rozsahu (*bandwidth coupling*) a snaží se udržet co nejlepší poměr mezi frekvenčním rozlišením a rychlostí měření. Se zvyšujícím se rozlišením klesá šum. Pokud se ručně

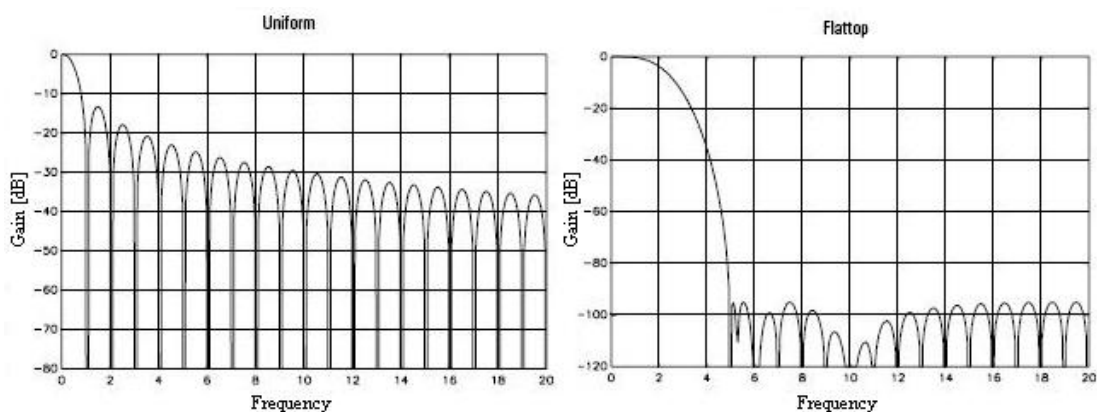


určí rozlišení, analyzátor se snaží udržet co nejlepší poměr rozlišení/šířka pásma upravováním frekvenčního rozsahu (*offset coupling*). Při požadavku udržet rozlišovací schopnost bez ohledu na ostatní parametry je třeba explicitně zadat délku časového záznamu (*fixed coupling*).

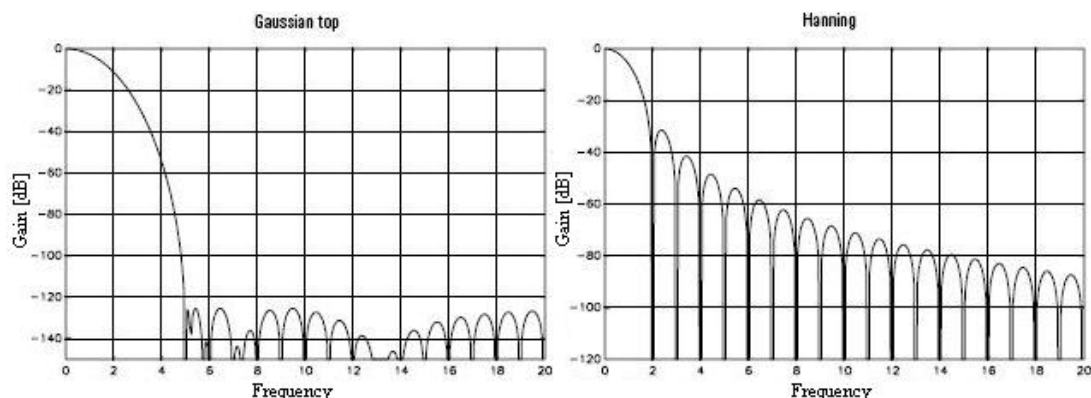
### 3.2.2 Typ okna (*Window*)

Když není vstupní signál uvnitř časového záznamu periodický, projevuje u Fourierovy transformace nežádoucí vlastnost, nazývanou prosakování. Způsobuje přispívání všech sousedních kmitočtů, v nichž se překrývají obrazy signálu a okna, a vypočtení špatného spektra. Okna tuto nechtěnou vlastnost odstraňují tím, že v závislosti na typu okna utlumují energii na koncích časového záznamu vstupního signálu.

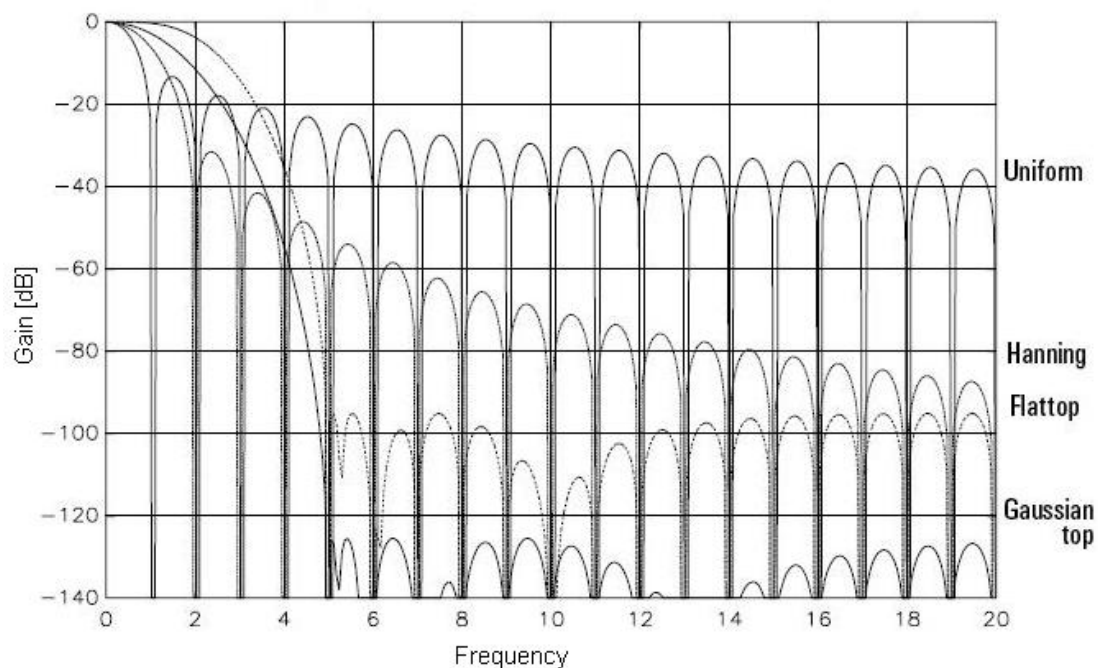
Spektrální analyzátor 89410A používá 4 typy oken a to Uniform (pravoúhlé), Hanning, Gaussian top a Flattop. Jejich frekvenční odezvy jsou na obrázcích 3.3 a 3.4 (pro jednoduchost jsou průběhy zobrazeny jen v pravé části obrázku, jinak jsou symetrické podle osy Y) a podle požadovaných parametrů měření se volí typ okna. Např. Hanningovo okno umožňuje lepší frekvenční rozlišení při pevně zadané délce časového záznamu, okno Flattop je výhodnější využít při pevně zvolené rozlišovací schopnosti.



Obrázek 3.3 Frekvenční odezvy oken Uniform, Flattop [1]



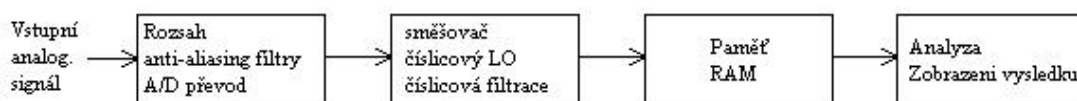
Obrázek 3.4 Frekvenční odezvy oken Gaussian top, Hanning [1]



Obrázek 3.5 Porovnání frekvenčních odezev jednotlivých typů oken [1]

### 3.3 ČASOVÝ ZÁZNAM DAT (*TIME CAPTURE DATA*)

Analyzátor 89410A může nejen okamžitě analyzovat vstupní signál, ale poskytuje možnost navzorkovaný signál uložit do paměti a později na tento uložený signál aplikovat téměř všechny své standardní operace. Blokové schéma uložení signálu ukazuje obrázek 3.3.



**Obrázek 3.3 Blokové schéma uložení vzorků vstupního signálu [2]**

Vstupní analogový signál se upraví dle potřeby (zesílí, zeslabí), poté se navzorkuje a po převedení na číselnou řadu se uloží do paměti RAM, odkud lze v případě potřeby načíst, analyzovat a zobrazit data. Další výhodou této funkce je, že uložení signálu nevznikne ztráta některých vzorků signálu, což se v některých případech při přímém zpracování signálu může stát. Uložená data lze také přenést a analyzovat přímo v počítači.

### 3.4 TECHNICKÉ PARAMETRY HP 89410A

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| Frekvenční rozsah:             | 0 – 10 MHz, 51 – 3201 bodů<br>ladění střední frekvence po 0,001 Hz   |
| Pracovní režimy:               | skalární, vektorový, demodulace  |
| Spouštění:                     | volně běžící, vstupní kanál, podmínka, interní zdroj, GP-IB  |
| Okna:                          | Flattop, Hanning, Gaussian top, Uniform  |
| Rozlišovací schopnost:         | 312,5 $\mu$ Hz – 3MHz v 1, 3, 10 sekvenci nebo definovatelná uživatelem  |
| Vstupní rozsah:                | při 50 $\Omega$ rozsah -30 dBm až 24dBm<br>při 75 $\Omega$ rozsah -31,761 dBm až 22,239 dBm<br>při 1 M $\Omega$ rozsah -30 dBm až 28 dBm |
| Přesnost amplitudy:            | $\pm 0.5$ dB   |
| Citlivost (vstup 50 $\Omega$ ) | 1 kHz – 40 kHz < -131 dBm/Hz<br>40 kHz – 10 MHz < -144 dBm/Hz  |

## 4. GPIB (STANDARD IEEE 488.2)

V roce 1972 byl vyvinut firmou Hewlett Packard univerzální měřicí systém dle standardu IEEE 488 označený také jako HP-IB. Později byl standard kvůli větší kompatibilitě rozšířen (IEEE 488.2) a označení bylo změněno na GPIB. V současnosti je GPIB jeden z nejrozšířenějších systémů na světě.

### 4.1 KOMUNIKACE V GPIB

Základním principem je spojení funkčních jednotek a počítače pomocí sběrnice, přes kterou probíhá komunikace pomocí zpráv sloužících k řízení systému a jsou přenášeny serioparalelně po bytech. Na obrázku 4.1 jsou zobrazeny dva možné typy zapojení systému, kde vždy v určitém okamžiku jeden přístroj generuje a posílá zprávy (mluvčí - *Talker*) a ostatní přístroje poslouchají (posluchači – *Listener*).

O určování mluvčího a posluchače se stará řidič (C) (nejčastěji PC s příslušnou zásuvnou kartou) vysíláním jednovodičových zpráv IFC, ATN a REN. Lze předávat i funkci řidiče, ale musí existovat systémový řidič, který může kdykoliv převzít funkci řidiče. Protože není rozlišen směr přenosu dat, každý přístroj má přiřazeny dvě adresy. K adresaci je vyhrazeno 5 bitů, k dispozici je tedy 31 adres (adresa 11111 je vyhrazena pro příkazy odadresování *UNL* a *UNT*).

### 4.2 ZPRÁVY

Každý přístroj, zapojený do systému, musí obsahovat kromě své funkční části poskytující měření také stykovou část, která zajišťuje komunikaci s okolními přístroji pomocí výměny zpráv stykových částí. Tyto zprávy lze rozlišit na dva druhy:

- místní
- dálkové

#### 4.2.1 Místní zprávy

Místní zprávy slouží ke komunikaci funkční části se stykovou a nejsou přenášeny společnou sběrnici. Norma definuje 18 místních zpráv označujících se

třemi malými písmeny (např. pon = power on), které jsou podstatné spíše pro konstruktéra zařízení, běžný uživatel tyto zprávy většinou nevyužívá.

#### **4.2.2 Dálkové zprávy**

Dálkové zprávy jsou používány ke komunikaci s okolními přístroji, tedy zprávy přenášené společnou sběrnici mezi stykovými jednotkami přístrojů. Tyto zprávy lze dále dělit na přístrojové, jež jsou přenášeny mezi funkčními jednotkami přístrojů (programovací údaje a naměřená data), a stykové, které slouží k ovládání přístrojů, řízení korespondence, zjišťování stavu, adresy. Dálkové zprávy mohou být ještě rozděleny podle počtu vodičů potřebných k přenesení zpráv:

- jednovodičové (*DAV, NRFD, NDAC, ATN, IFC, REN, SRQ, EOI*)
- vícevodičové

#### **4.3 VLASTNOSTI GPIB**

|                                       |                       |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Počet přístrojů zapojených v systému: | max. 15               |
| Délka sběrnice:                       | max. 20m              |
| Maximální vzdálenost mezi přístroji:  | 4m                    |
| Přenosová rychlost:                   | max. 1 MB/s           |
| Počet vodičů sběrnice:                | 24                    |
|                                       | 16 signálních         |
|                                       | 16 zpětných a zemních |

## 5. PROGRAMOVÉ PROSTŘEDÍ LABVIEW

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench*), představené v roce 1986, je grafické vývojové prostředí pro měření a automatizaci a od té doby bylo provedeno mnoho inovací a vylepšení. Původně bylo Labview navrženo pro programování měřicích přístrojů, ale během let se z něj vyvinulo prostředí pokrývající širokou řadu oborů a aplikací a v současnosti je jedním z nejpopulárnějších pro sběr dat a řízení přístrojů.

„Labview vychází z poznatku, že tím, kdo ví, co měřit, jak analyzovat a jak prezentovat data, je technik, který nemusí být sám zkušeným programátorem.“ [7] Uživateli je poskytnut plnohodnotný programovací jazyk na úrovni např. jazyka C se všemi datovými a programovými strukturami, avšak není orientován textově, ale graficky. LabVIEW také od počátku své existence poskytuje možnosti běhu programů v reálném čase a programování paralelních procesů, jejichž důležitost stoupá s vývojem vícejádrových procesorů. Verze 8.20 byla rozšířena o možnosti objektového programování, lze tedy využít např. objekty, třídy, zapouzdření, dědičnost nebo polymorfismus.

### 5.1 PŘIPOJENÍ MĚŘICÍHO PŘÍSTROJE K PC

Pro připojení přístroje k počítači je nutné, aby počítač obsahoval kartu pro získání měřených dat, tzv. DAQ kartu. Tyto karty vyrábí firma National Instruments a jsou v současnosti většinou připojovány do slotu PCI, ale existují také staré typy připojitelné pomocí ISA slotu. Existují různé typy karet, některé pro sběr dat z měřicího přístroje, jiné pro přímé měření bez nutnosti přístroje. K těmto kartám musí být také odpovídající software (drivery), s jehož pomocí je možné konfigurovat a ovládat zařízení nebo získávat data z více kanálů.

Analýzátor HP 89410A je k počítači připojen přes převodník GPIB-USB-B obsahující funkce a vlastnosti GPIB řídiče, které jsou požadovány normou IEEE 488.2. Převodník je součástí propojovacího kabelu a umožňuje tak přímé připojení ke

sběrnici GPIB přístroje a USB sběrnici počítače. Díky napájení přímo z USB portu není třeba externího napájení.

## 5.2 OVLADAČ ANALYZÁTORU HP 89410A

Pro zjednodušení programování obslužného softwaru v prostředí LabVIEW je poskytován firmou National Instrument balíček ovladačů pro analyzátory řady 89400. Instalace ovladačů do LabVIEW se provádí zkopírováním stažených ovladačů do podadresáře *instr.lib* a přepsáním původního souboru *dir.mnu*. Po úspěšné instalaci je v blokovém schématu paleta *All Functions - Instrument I/O* rozšířena o ovladače *HP89400* obsahující bloky pro ovládání přístroje.

## 5.3 VISA

Standard *Virtual Instrument Software Architecture* (VISA) byl vyvinut pro nastavení a programování měřicích systémů využívajících různých typů rozhraní (GPIB, USB, Ethernet, sériové, VXI, PXI). Je to v podstatě programovatelné rozhraní mezi hardwarovými přístroji a programy jako např. LabVIEW a díky tomu není potřebné při přechodu na jiný typ sběrnice měnit zdrojový kód aplikace. Po připojení analyzátoru HP 89410A k počítači jsou principy komunikace velmi podobné komunikaci pomocí sběrnice GPIB. Pro konfiguraci a inicializaci rozhraní je využit program *Measurement & Automation Explorer*.

## 6. OBSLUŽNÝ SW ANALYZÁTORU HP 89410A

### 6.1 VLASTNOSTI OBSLUŽNÉHO PROGRAMU

Obslužný program, vytvořený v programovacím prostředí Labview 7.1, poskytuje ovládání měřicího přístroje HP 89410A, nastavení základních parametrů dvoukanalového měření amplitudových spekter ve skalárním a vektorovém módu v maximálním frekvenčním rozsahu 0 – 10 MHz. Poskytuje také měření průběhů v časové doméně a jejich záznam (Time Capture), možnost zobrazení dat v módu kmitočtové lupy (zoom) a využití funkce *Manual Sweep* ve skalárním módu.

Další schopností programu je uložení naměřených dat do data registrů či do souboru pro pozdější manipulaci s naměřenými daty. Lze také uložit konfiguraci analyzátoru, což v podstatě umožňuje tvoření automatických měření s nastavenými parametry a případnými poznámkami k měření. Před ukončením programu jsou naměřená data i konfigurace uloženy do dočasných souborů na pevný disk a po opětovném spuštění programu načteny.

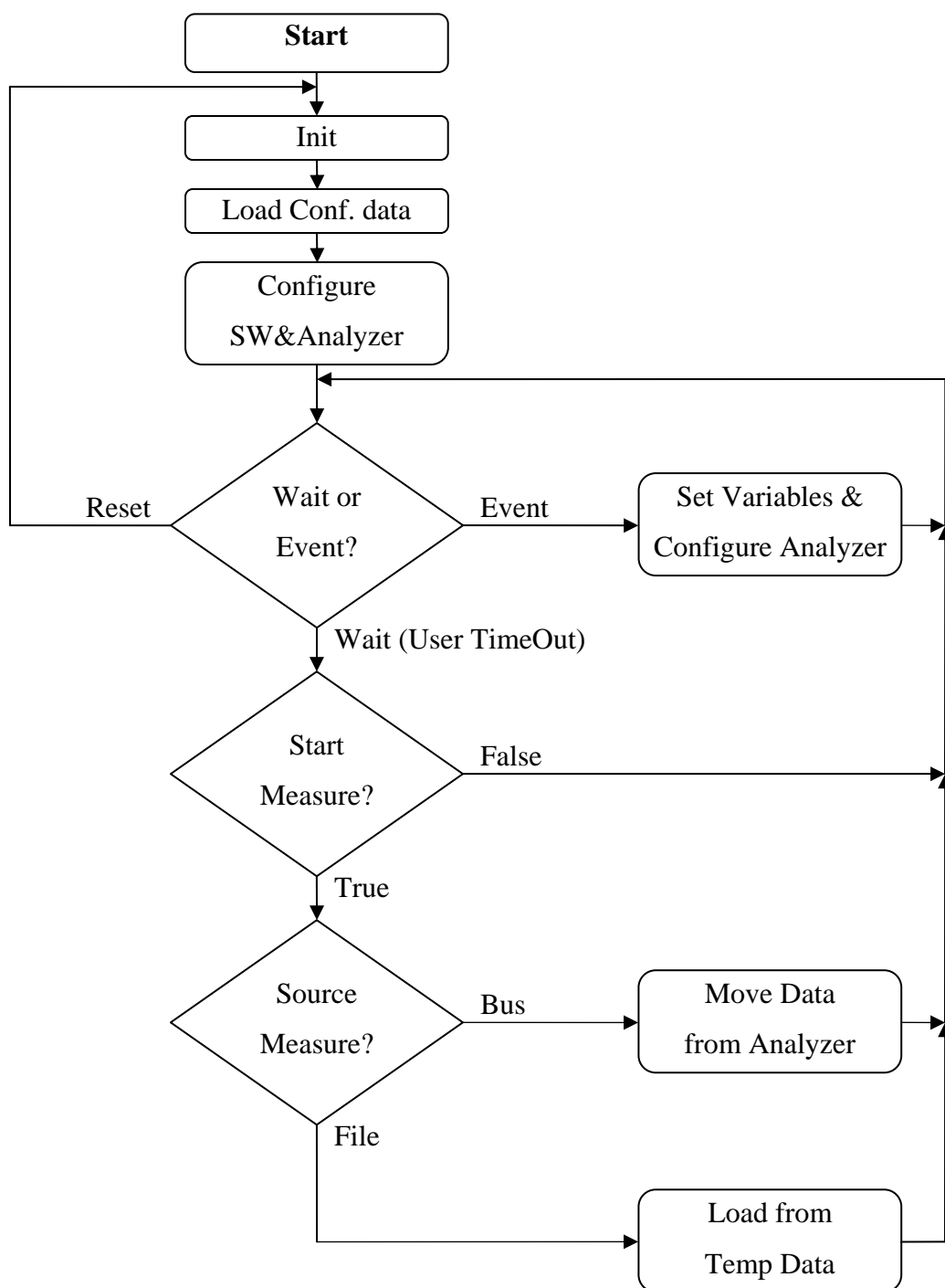
Programem lze také ovládat a měřit pomocí markerů, generovat nebo načítat z data registrů průběhy vlastním zdrojem signálu, vestavěným v přístroji. Nechybí zde možnost ovládání a nastavování analyzátoru pomocí jednoduchých příkazů přes konzoli.

Při případném spuštění programu pomocí zdrojového souboru v Labview je nutné do adresáře ...\\National Instruments\\LabVIEW 7.1\\instr.lib\\HP89400 nahrát ovladače na přiloženém CD.



## 6.2 ZÁKLADNÍ PRINCIP OBSLUŽNÉHO SW

Obslužný software, vytvořený pomocí grafického programování v prostředí LabVIEW, má základní princip vyjádřený vývojovým diagramem (Obrázek 6.18).



Obrázek 6.1 Vývojový diagram programu

Po startu programu je spuštěn inicializační proces, kdy je proveden restart přístroje, načtení konfiguračních proměnných a jejich nastavení v softwaru i analyzátoru. Po provedení inicializačního procesu program čeká na nějakou událost z Front Panelu (změna hodnoty proměnné), což je ošetřeno a nastaveno v příslušných case programu.

Pokud nedojde ke vzniku události v čase určeném **User Timeout**, program testuje podmínku stisknutého tlačítka **Start**, kterým je ovládáno měření a transfer dat. Při splnění podmínce závisí také na volbě **Measurement Source**, čímž je určen zdroj zobrazených dat. Při volbě **Bus** program přenáší měřená data z analyzátoru a tyto data jsou zobrazovány a v každém průběhu ukládány do dočasného souboru data.xml. Naopak volbou **File** program pouze načítá data uložená v souboru data.xml a mimojiné při tomto nastavení nelze nastavovat analyzátor, pouze se mění proměnné v programu.

Nastavování parametrů přístroje je realizováno posíláním příkazů datového typu string s využitím rozhraní VISA a nainstalovaných ovladačů od výrobce měřicího přístroje. Tyto ovladače jsou ve formě subVI se vstupy, kterými spolu s nastavovacími prvky na Front panelu programu uživatel ovlivňuje, jaké příkazy s jakými parametry budou posílány na sběrnici GPIB. Většina závislostí mezi jednotlivými parametry analyzátoru jsou již vyřešeny podmínkami v ovladačích, některé (především limity) jsou ale řešeny externě programem v jednotlivých case.

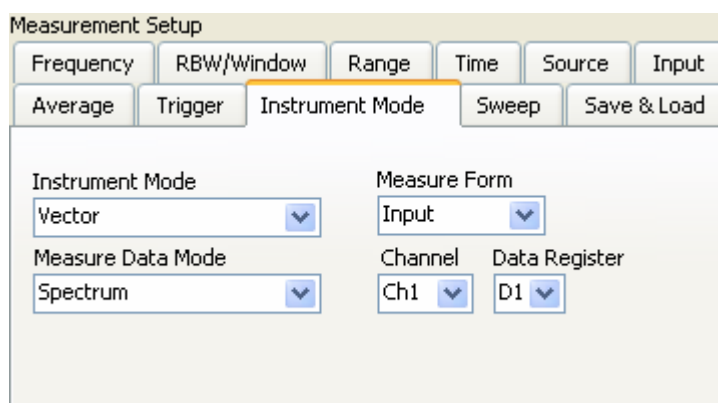
### 6.3 NASTAVENÍ PARAMETRŮ MĚŘENÍ

Před samotným měřením by měli být nastaveny základní parametry ovlivňující průběh a výsledky měření. Při nesprávném nastavení lze zobrazovat výsledky, které ale nemusí být ty správné nebo požadované. Parametry lze nastavit v komponentě **Measurement Setup**.

### 6.3.1 Pracovní režim analyzátoru (*Instrument Mode*)

Základním a nejhlavnějším nastavením přístroje je jeho pracovní režim, který ovlivňuje nastavení parametrů a způsob získávání měřených dat. Volba režimu je závislá na kvalitě požadovaných výsledků měření.

Pracovní režim analyzátoru a typ měřených dat lze nastavit v záložce **Instrument Mode**.



Obrázek 6.2 Nastavení pracovního režimu analyzátoru

Položkou **Instrument Mode** je možné volit ze dvou pracovních režimů analyzátoru:

- **Scalar** – skalární mód, využívající k měření skokovou FFT transformaci (*stepped FFT*). Je vhodný při měření širokých i úzkých frekvenčních pásem s malou hodnotou frekvenčního rozlišení a to v rychlém čase s vysokým odstupem signálu od šumu.
- **Vector** – vektorový mód, využívající k převodu signálu z časové do frekvenční oblasti FFT, je schopen získat amplitudy ve frekvenční oblasti ve velmi rychlém čase. Je využit při rychlých měření úzkých pásem s velmi malým rozlišením nebo při potřebě zobrazit měřený průběh v časové doméně podobně jako na osciloskopu.

**Measure Data Mode** určuje, jaký typ měřených dat bude zobrazen na aktuálním trase.

- **Spectrum** – nastavuje měření amplitudového spektra signálu

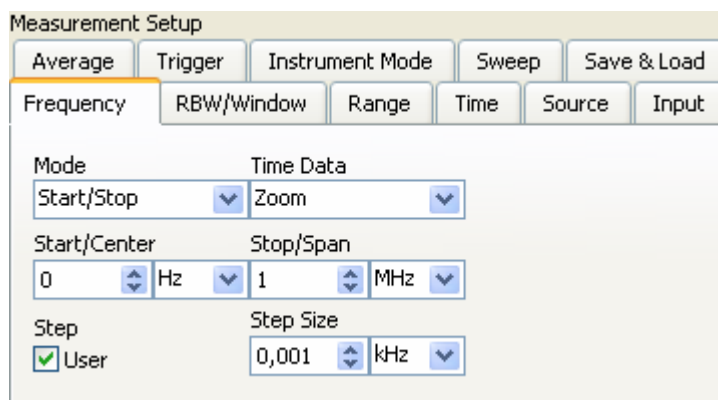
- **Main time** – zobrazení vstupního signálu v časové doméně, tj. amplitudu v závislosti na čase. Nastavitelné pouze ve vektorovém režimu.
- **Gate time** – zobrazení části vstupního signálu v časové doméně s rozsahem určeným v záložce **Measurement Setup -> Time**. Nastavitelné pouze ve vektorovém režimu.
- **Capture Buffer** – zobrazení obsahu paměti capture bufferu. Nastavitelné pouze ve vektorovém režimu.
- **Data Registers** – zobrazení obsahu paměti data registru, určeného nastavením **Data Register**.

Položkou **Measure Form** lze určit, zda bude měřený signál zaznamenán a poté analyzován (**Capt.Buffer**) nebo bude přímo analyzován (**Input**).

Nastaveními **Channel** a **Data Register** lze v závislosti na nastavení **Measure Data Mode** zvolit zdroj vstupního signálu.

### 6.3.2 Frekvenční rozsah (*Frequency span*)

Jedním z nejdůležitějších parametrů při měření je frekvenční rozsah, kterým je určeno, v jakém rozmezí frekvencí bude probíhat měření spektra. K nastavení je využit ovladač **Sweep Frequency Setup** z knihovny hp89400.lib.



Obrázek 6.3 Nastavení frekvenčního rozsahu

Frekvenční rozsah lze nastavit v záložce **Frequency**. Maximální nastavitelný rozsah je 0 - 10 MHz a je možné jej nastavit třemi způsoby:

1. Zvolením položky **Full Span** v nastavení **Mode**.
2. Nastavením počáteční a konečné frekvence na rozsah 10 MHz.

Menší frekvenční rozsah než maximální je možné nastavit dvěma způsoby, buď zadáním počáteční a koncové frekvence (**Mode -> Start/Stop**), nebo zadáním střední frekvence a rozsahu, ve kterém bude probíhat měření (**Mode->Center/Span**).

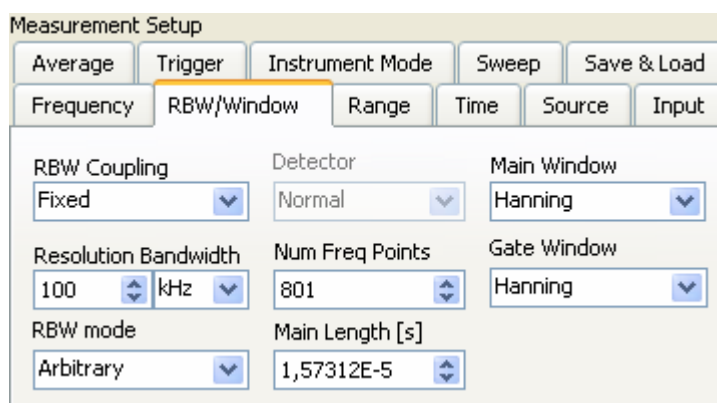
Položka **Time Data** je určena k nastavení bodu, od kterého bude začínat měření. Při zvolení **Baseband** jsou hodnoty frekvence ztaženy k 0 Hz, ale při **Zoom** módu jsou vztaženy ke střední hodnotě frekvence lokálního oscilátoru.

Posledním nastavením je velikost kroku lokálního oscilátoru. Je možné zvolit automatický nebo manuální způsob krokování pomocí položky **Step**, přičemž při manuálním způsobu lze nastavit hodnotu **Step Size** v rozmezí 0,5 Hz – 10 MHz.

### 6.3.3 Rozlišovací schopnost (*Resolution Bandwidth*), typ okna (*Window*)

Rozlišovací schopnost analyzátoru, označovaná zkratkou RBW, určuje minimální rozsah dvou nejbližších frekvencí, které od sebe dokáže analyzátor rozeznat. Ve většině případů měření je vhodné automatické nastavování RBW (*auto coupling*), kdy se přístroj snaží o nejlepší kompromis mezi rychlostí a rozlišením.

Pokud vstupní signál uvnitř časového záznamu není periodický, vzniká u FFT nežádoucí chyba měření, nazývaná „*prosakování (leakage)*“. Okna je filtr, který ovlivňuje amplitudu vstupního signálu na začátku a konci časového záznamu. Typ rozlišení, jeho velikost nebo typ okna lze nastavit v záložce **RBW/Window**.



Obrázek 6.4 Nastavení RBW, oken

Nastavení **RBW Coupling** určuje způsob, jakým se volí velikost rozlišení (viz kapitola 3.2.1). Hodnotu rozlišení lze zadat (**Resolution Bandwidth**) jen v coupling módech *Offset* a *Fixed*.

Při změně na mód *Fixed* je třeba explicitně nastavit délku časového záznamu, jehož limity se upravují v závislosti na nastavení frekvenčního rozsahu, počtu frekvenčních bodů (**Number Freq Points**) a typu okna.

**RBW mode** nastavuje typ posloupnosti zadávání hodnoty rozlišení a to v sekvenci *1-3-10* nebo libovolné (*Arbitrary*).

**Main Window** slouží k nastavení typu filtru s definovanou amplitudovou charakteristikou, aplikovaného na vstupní signál (viz kapitola 3.2.2).

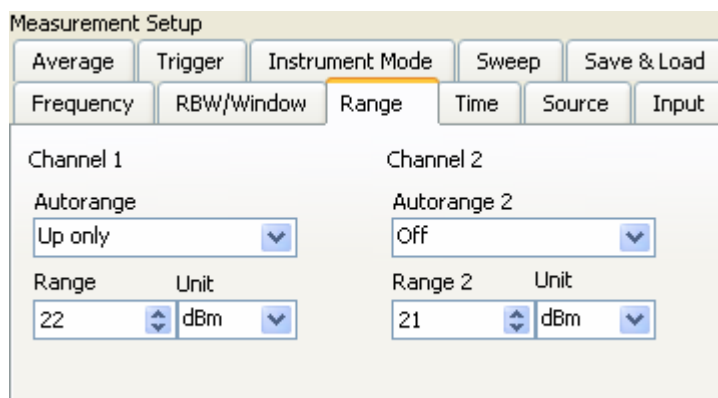
**Gate Window** slouží také k nastavení typu filtru, ale na část vstupního signálu určeného nastavením *Time gating*. Lze použít jen ve vektorovém režimu.

**Detector** nastavuje, jakým způsobem se budou zobrazovat naměřené a transformované body signálu. Typ lze nastavovat jen ve skalárním režimu.

- *Normal* – z buňky mezi dvěma frekvencemi se vybere bod s největší amplitudou a ten se zobrazí na displeji.
- *Positive Peak* – všechny maximální amplitudy sinusových průběhů v buňce budou zobrazeny.
- *Sample* – okamžité hodnoty amplitudy na konci buňky budou zobrazeny.

#### 6.3.4 Rozsahy vstupních kanálů (*Range*)

Nastavením rozsahu vstupního kanálu se v podstatě nastavuje rozsah vstupního napětí A/D převodníku. Rozsah lze nastavit v rozmezí  $-30 \div 24$  dBm automaticky nebo manuálně podle volby v záložce **Range**.



Obrázek 6.5 Nastavení rozsahu vstupních kanálů

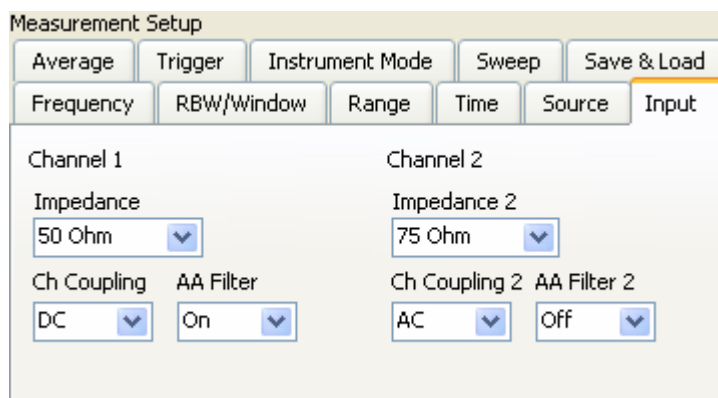
Nastavením **Autorange** je možné zvolit typ automatického nastavení vstupního rozsahu nebo manuální zadání rozsahu (*Off*) pomocí **Range** a **Unit**.

Typy automatického nastavení rozsahu:

- **Up Only** – analyzátor nastavuje hodnotu rozsahu jen zvyšováním rozsahu podle amplitudy vstupního signálu. Tato volba je vhodná pro zrychlení měření, ale nepodává dobrý poměr signál/šum.
- **Up down** – hodnota rozsahu se upravuje podle velikosti amplitudy vstupního signálu tak, aby vznikl co nejlepší poměr signál/šum. Nevýhodou je však zpomalení měření a při častých velkých změnách vstupního signálu může nastavování trvat velmi dlouho.
- **Up Only (Single), Up down (Single)** – význam nastavování je stejný jako dvě předchozí položky, dojde pouze k provedení jednoho nastavení a poté se **Autorange** změní na *Off*.

### 6.3.5 Vlastnosti vstupního kanálu (*Input*)

Při měření je také někdy nutné nastavit impedanci a vazbu vstupního kanálu, případně pro zrychlení měření vypnout anti-alias filtry. Tyto nastavení je možné provést v záložce **Input** pro každý kanál zvlášť.



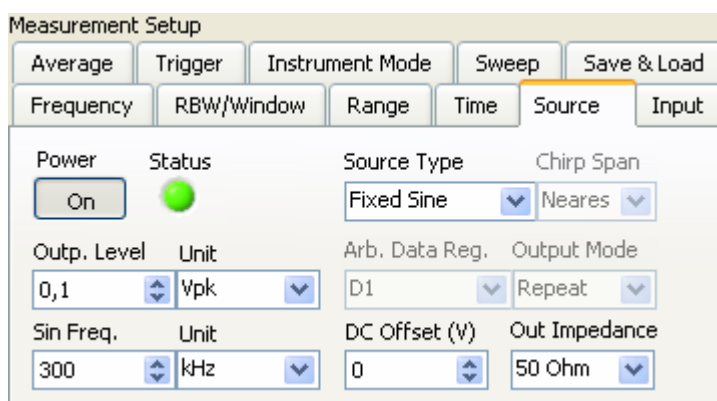
Obrázek 6.6 Nastavení vstupního kanálu

**Impedance** určuje, jakou hodnotu bude mít vstupní impedance kanálu. Lze nastavit na hodnoty  $50\ \Omega$ ,  $75\ \Omega$  nebo  $1\ M\Omega$ .

**Ch Coupling** slouží k nastavení vazby vstupního signálu. Při nastavení **DC** je vstupní signál veden přímo do vstupních obvodů, naopak při **AC** je do cesty signálu připojen kondenzátor. Pomocí **AA Filter** je možné zapnout či vypnout anti-aliasing filtr.

### 6.3.6 Generátor signálu (*Source*)

Analyzátor 89410A obsahuje zabudovaný generátor signálu se třemi základními typy signálů a možností generování průběhu uloženého v data registrech. Generátor signálu je možné ovládat v nastavení **Source**.



Obrázek 6.7 Ovládání generátoru signálu



Tlačítkem **Power** lze zapnout či vypnout generování signálu s nastavenými parametry. Kontrolka **Status** slouží k aktuálnímu zobrazení stavu zdroje.

**Source Type** specifikuje tvar generovaného signálu a ovlivňuje nastavitelnost ostatních parametrů zdroje. Tvar průběhu je možné vybrat ze 4 položek:

- **Fixed Sine** – je generován výstupní signál s tvarem sinusoidy s definovanými parametry.
- **Random Noise** – je generován signál s náhodným tvarem a s amplitudami rozloženými podle Gaussovy křivky.
- **Periodic Chirp** – je generován signál s tvarem sinusoidy, u níž se s časem zvyšuje frekvence signálu.
- **Arbitrary (DR)** – signál s průběhem určeným daty v SDF formátu, uloženými ve vybraném data registru (**Arb. Data Reg.**).

**Output Level** definuje velikost amplitudy výstupního signálu v rozmezí závislém na zvoleném typu a jednotce (**Unit**) signálu podle tabulky 6.1.

| Unit      | Fixed Sine  | Random Noise | Periodic Chirp |
|-----------|-------------|--------------|----------------|
| dBm       | -110 ÷ 23   | -110 ÷ 10    | -110 ÷ 19      |
| dB (Vrms) | -110 ÷ 10   | -110 ÷ -2    | -110 ÷ 6       |
| dB (Vpk)  | -110 ÷ 13   | -110 ÷ 13    | -110 ÷ 9       |
| Vrms      | 0 ÷ 3,35355 | 0 ÷ 0,7143   | 0 ÷ 2,121      |
| Vpk       | 0 ÷ 5       | 0 ÷ 5        | 0 ÷ 3          |

**Tabulka 6.1 Limity napětí generovaného signálu**

**Sin Freq.** určuje velikost frekvence sinusového průběhu výstupního signálu.

Pomocí nastavení **DC Offset** lze do generovaného signálu přidat stejnosměrnou složku o velikosti ve voltech (špička - špička). Hodnotu offsetu lze nastavit v rozmezí  $\pm 3,42$  V, v závislosti na hodnotě **Output Level** tak, aby nedošlo k překročení maximálního hodnoty signálu  $\pm 5$  V (špička – špička).

**Chirp Span** určuje, zda budou počítány po sobě jdoucí periody generovaného signálu přesně (**Exact**) nebo přibližně (**Nearest**). Je dovoleno nastavovat jen při RBW Mode -> **Arbitrary**, RBW Coupling -> **Auto** a **Source Type** -> **Periodic Chirp**.

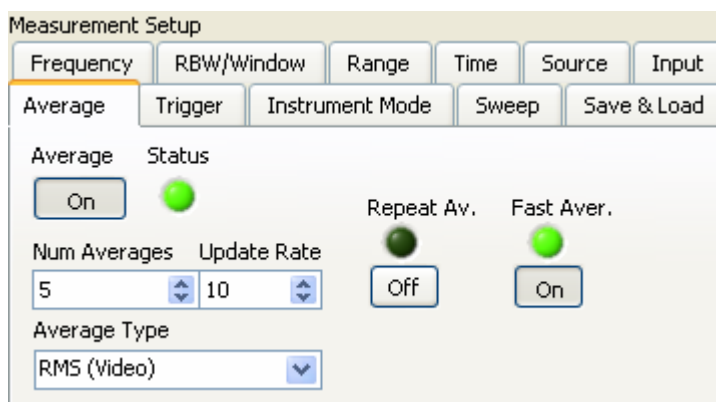
**Output Mode** ovlivňuje při generování signálů *Periodic Chirp* a *Arbitrary* způsob posílání těchto průběhů na výstupní konektor generátoru.

- **Repeat** – při této volbě analyzátor posílá generovaná data nepřetržitě bez jakéhokoli přerušení. Tuto volbu je možné nastavit při jakémkoliv typu spouštění (**Trigger Type**) mimo volného (*Free run*).
- **Single** – analyzátor posílá data na výstupní konektor v závislosti na spouštění, při volném spouštění se data posílají bez přerušení.

**Out Impedance** nastavuje výstupní impedanci generátoru s hodnotami **50  $\Omega$**  či **75  $\Omega$** .

### 6.3.7 Průměrování měření (*Average*)

Pro zvýšení přesnosti měření lze využít funkci průměrování, což způsobí zprůměrování definovaného počtu měření podle typu, nevýhodou je však časová náročnost měřicího procesu. Nastavení průměrování je možné v záložce **Source**.



Obrázek 6.8 Nastavení průměrování

Tlačítko **Average** je určeno ke spuštění či zastavení funkce průměrování, jejíž také indikuje kontrolka **Status**.

Z nabídky **Average Type** lze zvolit, jakým způsobem průměrovat měření.

- **RMS (Video)** – průměrování na základě snižování rozdílu amplitud v bodech jednotlivých měření. Tento typ průměrování nesnižuje šum tak, jako je tomu u průměrování časového.

- **RMS (Video Exponential)** – průměrování pokračuje počítáním nových průměrů s využitím exponenciální funkce, nových i starých bodů měření i předešlé vypočtené průměry.
- **Time** – časové nebo také komplexní průměrování je založené na snižování rozdílu reálných a imaginárních hodnot amplitud v bodech jednotlivých měření. Poskytuje dobré snižování a vyhlazování šumu. Průměrování tohoto typu lze použít jen ve vektorovém režimu.
- **Time (Exponential)** – pokračuje v průměrováním použitím exponenciální funkce na měřené i vypočtené body obdobně jako u **Video Exponential**.
- **Continuous Peak Hold** – zobrazuje jen maximální hodnoty amplitud bodů jednotlivých měření.

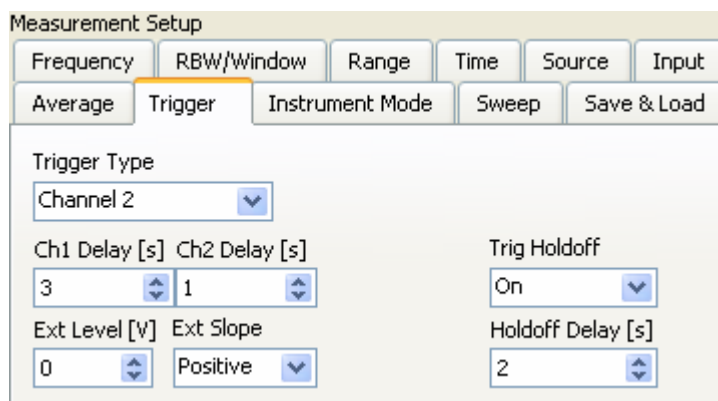
Nastavením hodnoty **Num Averages** je možné určit počet průměrů měření.

**Repeat Av.** nastavuje, zda budou vypočtené a zobrazené průměry po dosažení hodnoty **Num Averages** uchovány (**Off**) nebo zda budou vymazány a nahrazeny novými hodnotami dalšího průměrování (**On**).

Pomocí **Fast Average** lze zrychlit čas zobrazování dat na displej pouze po několika provedených průměrech. Tato hodnota je určena položkou **Update Rate**.

### 6.3.8 Spouštění analyzátoru (*Trigger*)

Analýzátor 89410A podporuje 8 různých typů spouštění měření s možností pozastavení spouštěče. Spouštění analyzátoru je možné nastavit v záložce **Trigger**.



Obrázek 6.9 Nastavení průměrování

**Trigger Type** specifikuje jeden z osmi typů spuštění měření:

- **Free Run** – měření v podstatě není spouštěno, nečeká se na signál od spouštěče.
- **Channel 1, Channel 2** – získávání dat je spouštěno pokud vstupní data splňují podmínky, určenými **Ext Level** a **Ext Slope**.
- **IF Channel 1, IF Channel 2** – analyzátor spouští měření jen pokud signál od IF filtrů splňují podmínky nastavené podmínky (**Ext Level, Ext Slope**).
- **Internal Source** – získávání dat je synchronizováno s posíláním dat z generátoru signálu.
- **GPIB** – při přijetí spouštěcího příkazu ze sběrnice začne měření.
- **External** – měření je spouštěno pomocí signálu z externího konektoru na přístroji. Spouštění měření externím signálem je možné napětím v rozmezí  $\pm 11$  V.

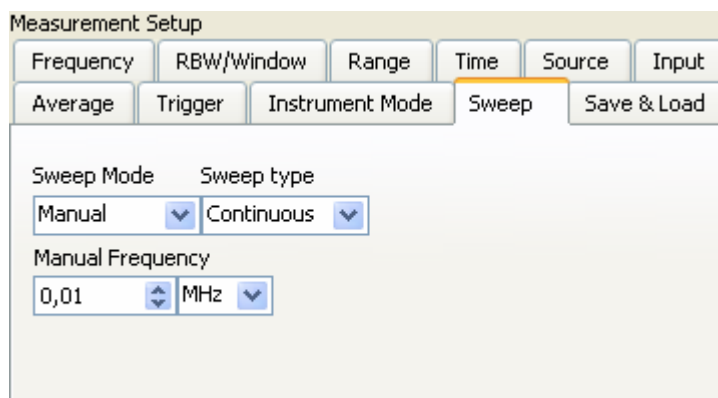
Položkami **Ch1 Delay**, **Ch2 Delay** lze nastavit zpoždění nahrávání časového záznamu oproti spuštění měření.

**Ext Level** definuje hodnotu napětí, při které nastane spouštění. Spouštění je také závislé na nastavení položky **Ext Slope** udávající, zda spouštění nastane při větší (**Positive**) či menší (**Negative**) hodnotě spouštěcího napětí než napětí triggeru.

U některého typu signálu (např. obdélníkový) je pro správné zobrazení nutné použít pozastavení spouštění. Toto nastavení lze zapnout či vypnout položkou **Trig Holdoff** s definovatelnou hodnotou zpoždění.

### 6.3.9 Měření na zvolené frekvenci (*Sweep*)

Pro výrazné zrychlení měření poskytuje přístroj funkci *Manual Sweep*, díky které lze měřit amplitudu signálu na vybrané frekvenci. V podstatě je explicitně nastavena frekvence lokálního oscilátoru na požadovanou a není třeba čekat na přeladění v celém pásmu. Tuto funkci je možné ovládat pouze ve skalárním režimu a nachází se pod záložkou **Sweep**.



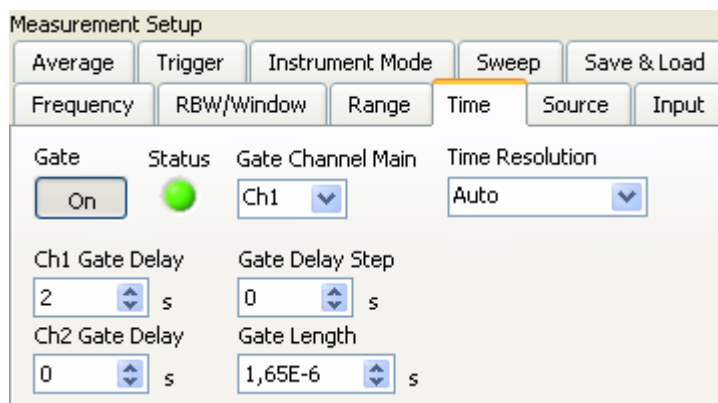
Obrázek 6.10 Měření na zvolené frekvenci

Pomocí položky **Sweep Mode** se lze přepnout z automatického přeladování (**Auto**) lokálního oscilátoru na manuální zadání (**Manual**) frekvence LO, jehož hodnota je určena položkou **Manual Frequency** v rozsahu 0 – 10 MHz, ale jen v mezích nastaveného frekvenčního rozsahu.

**Sweep type** definuje, zda se bude měření opakovat (**Continuous**) nebo proběhně pouze jedno měření (**Single**).

### 6.3.10 Měření vybrané části signálu (*Time Gating*)

Funkce *Time gating* poskytuje možnost analýzy části signálu, specifikované již v časovém záznamu. Tato funkce je používána k analýze nestacionárních průběhů signálu nebo částí stacionárních průběhů (hledání synchronizačních signálů různých zařízení). *Time Gating* je možné zapnout pouze ve vektorovém módu v záložce **Time**.



Obrázek 6.11 Nastavení funkce *Time Gating*

Tlačítkem **Gate** je možné vypnout či zapnout funkci *Time Gating* s přednastavenými parametry.

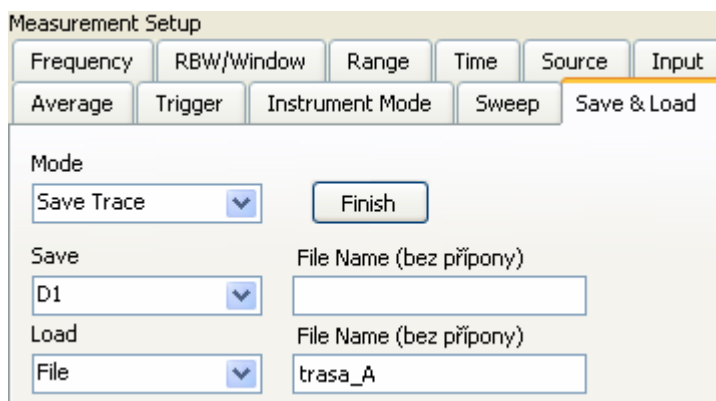
Hodnoty **Ch1 Gate Delay**, **Ch2 Gate Delay** slouží spolu s nastavením **Gate Length** k výběru části signálu z časového záznamu. Tuto část signálu je poté možné analyzovat se stejnými funkcemi jako analýzy celého časového záznamu. Limity zpoždění lze nastavit od 0 do maximální hodnoty časového záznamu, snížené o hodnotu **Gate Length**.

**Gate Delay Step** se využívá ke snižování nebo zvyšování zpoždění pro oba kanály.

**Time Resolution** udává, zda bude smplovací frekvence měněna automaticky podle délky časového záznamu (*Auto*) či nikoliv (*Couple to Span*).

### 6.3.11 Paměť analyzátoru

Paměť analyzátoru může být využita k uložení či načtení průběhu, stavu přístroje nebo časového záznamu ve vektorovém režimu. Je možné uložení do data registrů nebo do souboru s příponou .sta, která se ale v programu nezadává. V záložce **Save&Load** lze provádět tyto operace.



Obrázek 6.12 Ukládání / načítání

Položkou **Mode** lze ukládat (*Save ...*) či načítat (*Load ...*) jednotlivé trasy (... *Trace*), stav přístroje (... *State*) nebo ve vektorovém režimu buffer s časovým záznamem (... *Capture Buffer*).

Nabídkami **Save**, **Load** je možné zadat cíl či zdroj dat. Při volbě **File** je nutné definovat jméno souboru bez přípony. Jednotlivé data registry lze používat jen při módech **Save Trace** a **Load Trace**.

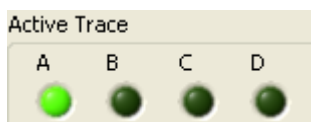
## 6.4 ZOBRAZENÍ VÝSLEDKŮ

Po analýze vstupního signálu lze výsledky zobrazit ve 4 rastrech a nastavit několik parametrů, ovlivňujících zobrazení výsledků analýzy. Je možné definovat matematické funkce, které budou provedeny a zobrazeny při dalším měření, nebo lze definovat jednotky.

Tyto jednotlivé parametry lze nastavit v záložkách bloku **Display Setup**.

### 6.4.1 Výběr aktivní trasy (*Active Trace*)

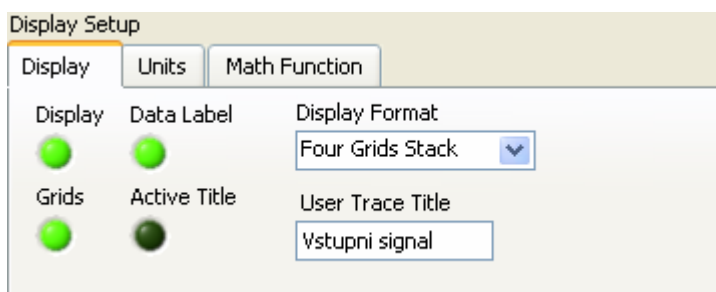
Pomocí 4 přepínačů v pravé horní části programu lze určit, která aktivní trasa bude zobrazena nebo na ni budou aplikovány nastavení parametrů.



Obrázek 6.13 Nastavení aktivní trasy

### 6.4.2 Vlastnosti trasy (*Display*)

Styl zobrazení jednotlivých tras a jejich vlastnosti lze definovat pomocí nástrojů v záložce **Display**.



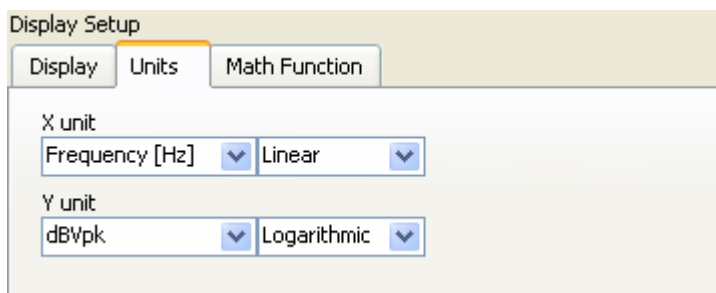
Obrázek 6.14 Nastavení vlastností trasy

Položkou **Display Format** je možné určit počet najednou viditelných tras a to jednu (*Single Grid*), dvě (*Two Grids*) a čtyři seřazené do čtverce (*Four Grids Quadr*) nebo pod sebe (*Four Grids Stack*).

Pomocí přepínačů v levé části lze nastavit viditelnost jednotlivých komponent trasy (zobrazení popisů, mřížkování, definice uživatelského titulku trasy) nebo přímo vypnout display přístroje (**Display**).

#### 6.4.3 Nastavení jednotek (*Units*)

V určitých případech je pro lepší zobrazení měřených signálů výhodné nastavit měřítko os x,y nebo jednotky, v kterých se budou výsledky zobrazovat. Tyto volby je možné ovládat v záložce **Units**.



Obrázek 6.15 Nastavení jednotek a měřítka

Nastavení jednotek osy x (**X unit**) je v podstatě určeno typem měřených dat (**Instrument Mode** -> *Meas Data Mode*), ale mohou být využity, např. při volbě jednotek dat načtených z data registrů.

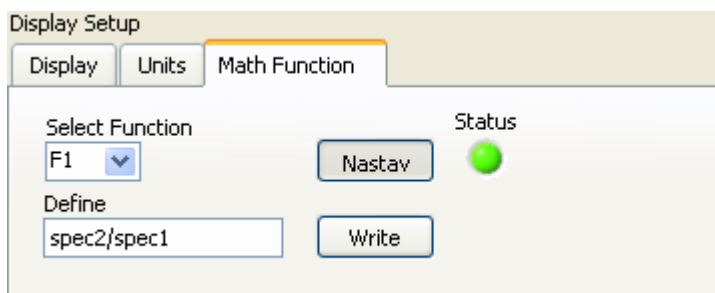
Nastavení jednotek osy y (**Y unit**) je závislé na zvoleném typu měřených dat, typem měřítka a jednotlivé položky se mění podle těchto parametrů.

Lineární a logaritmické měřítko jednotlivých os lze měnit pomocí rozbalovacích lišt vedle nastavení jednotek.

#### 6.4.4 Definice matematických funkcí (*Math Function*)

Na jednotlivých trasách je možno zobrazovat nejen transformované spektra, ale také výsledky matematických operací jiných tras (např. dělení spekter), určených pomocí **Math Function**. Analyzátor poskytuje definici šesti různých matematických funkcí, uložených v paměti analyzátoru.





**Obrázek 6.16 Definice matematické funkce**

Při sepnutém tlačítku **Nastav** je funkce určená položkou **Select Function** zobrazena na aktivní trase.

Požadovaná matematická funkce musí být nejdříve nadefinována v položce **Define** a poté uložena tlačítkem **Write** do funkce určené **Select Function**.

Povolené výrazy a jejich význam:

- *spec1, spec2* – spektrum kanálu
- *time1, time2* – časový záznam kanálu
- *gtime1, gtime2* – část časového záznamu kanálu určeného *time gating*
- *D1-6* – data registr

Povolené operátory: +, -, \*, /, (, ), CONJ, MAG, PHASE, REAL, IMAG, SQRT, FFT, IFFT, ln, exp

## 6.5 UKAZATELE A JEJICH VLASTNOSTI

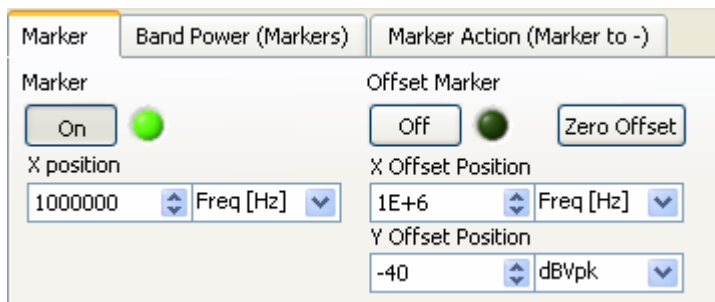
Mezi funkcemi analyzátoru samozřejmě nechybí ani možnost použití měřicích ukazatelů, které jsou schopny zobrazit amplitudy na zvolených frekvencích, počítat různé hodnoty z rozsahu měřeného spektra, vyhledávat v něm minima a maxima či nastavovat relativní počátek souřadnic.

### 6.5.1 Měřicí a offset ukazatel

Pro zobrazení hodnoty amplitudy na zvolené frekvenci je možné využít měřicí ukazatel, který je přichycen ke křivce (k bodům osy y) a zobrazuje příslušnou

hodnotu vpravo nahoře u trasy. Lze také využít nastavení relativní nulové x,y souřadnice, označené *Offset Marker*.

Tyto ukazatele je možné nastavovat v záložce **Marker**.



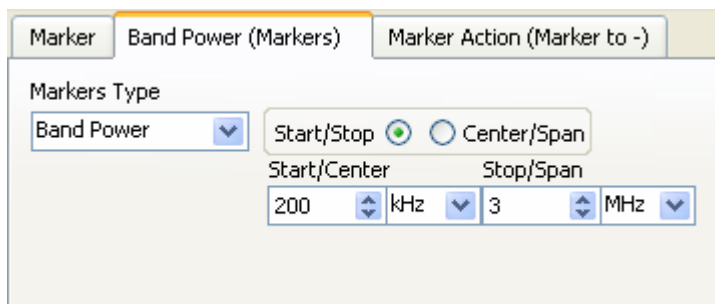
Obrázek 6.17 Ovládání pozice měřicího a offset ukazatele

Tlačítko **Marker** je určeno k zapnutí či vypnutí všech typů ukazatelů. Změnou hodnoty **X position** je prováděno ovládání měřicího ukazatele.

Nastavení a ovládání offset ukazatele je možné v pravé části záložky. Zapínání či vypínání je umožněno tlačítkem **Offset Marker**, nebo ho lze zapnout pomocí tlačítka **Zero Offset**, po jehož stisknutí se offset ukazatel nastaví na souřadnice měřicího ukazatele. Libovolnou polohu je možné ovládat pomocí položek **X Offset Position** a **Y Offset Position**.

### 6.5.2 Speciální ukazatele (*Band Power*)

Pomocí speciálních ukazatelů je možné zobrazit různé hodnoty výkonu v nastaveném rozsahu. Speciální ukazatele lze ovládat pod záložkou **Band Power (Markers)**.



Obrázek 6.18 Ovládání speciálních ukazatelů

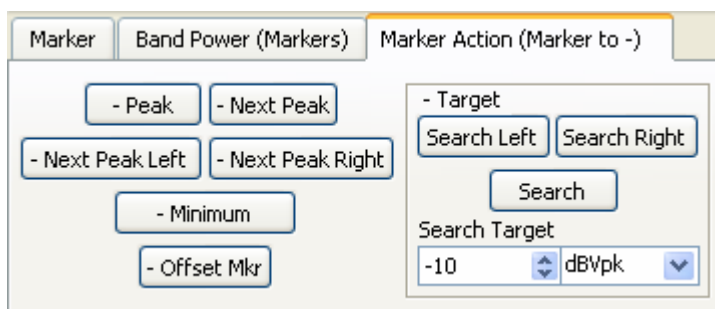
**Markers Type** určuje, jakou hodnotu v nastaveném rozsahu (**Start/Center, Stop/Span**) bude analyzátor počítat a zobrazovat.

- **Band Power** – je počítán výkon spektra
- **Band Power (RMS)** – je počítána efektivní hodnota výkonu spektra

Nastavení rozsahu ukazatelů je možné nastavit dvěma způsoby obdobně jako u nastavení frekvenčního rozsahu pomocí přepínače **Start/Stop;Center/Span**.

### 6.5.3 Vyhledávání v měřeném spektru (**Marker Action**)

Pro zjišťování důležitých hodnot (např. maxim, minim) ve spektru umožňuje analyzátor vyhledávat různé hodnoty amplitud ve změřeném spektru pomocí příkazů ovládající a nastavující měřicí ukazatel. V záložce **Marker Action (Marker To-)** lze ovládat tyto příkazy.



**Obrázek 6.19 Vyhledávání ve spektru**

Pomocí stisku jednotlivých tlačítek lze vyhledávat ve spektru podle následujícího významu:

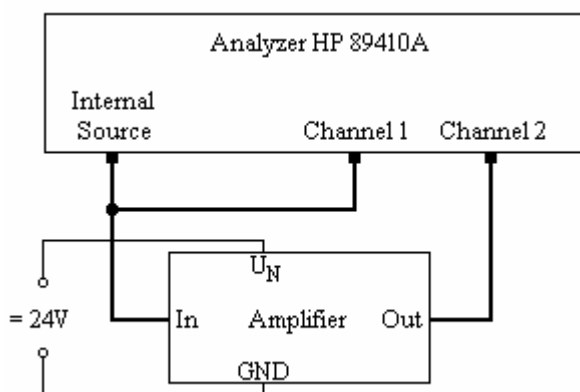
- **- Peak** – v měřeném spektru je nalezena nejvyšší hodnota
- **- Next Peak** – každým stiskem je nalezena nejvyšší hodnota, která je ale menší než hodnota měřicího ukazatele před stiskem.
- **- Next Peak Left** – je nalezena nejvyšší hodnota nalevo od pozice měřicího ukazatele
- **- Next Peak Right** – je nalezena nejvyšší hodnota napravo od pozice měřicího ukazatele
- **- Minimum** – je nalezena nejnižší hodnota v měřeného rozsahu

- - **Offset Mkr** – měřicí ukazatel je přesunut na souřadnici x offset ukazatele
- - **Target Search Left** – vyhledá první hodnotu nalevo od hodnoty nastavené v **Search Target**
- - **Target Search Right** – vyhledá první hodnotu napravo od hodnoty nastavené v **Search Target**
- - **Target Search** – vyhledá nejbližší skutečnou hodnotu k hodnotě určené v **Search Target**. Při zapnutém offset ukazateli je hodnota vztažena k relativnímu počátku

## 7. VALIDAČNÍ MĚŘENÍ

Pro otestování funkčnosti ovládacího softwaru byla změřena frekvenční charakteristika zesilovače AEC 02 ve pásmu  $0 \div 4$  MHz s budícím signálem typu bílý šum (Gaussovo rozložení amplitudy) v rozmezí amplitudy  $0,1 \div 1$  V po kroku  $0,1$  V.

### 7.1 SCHÉMA MĚŘENÍ



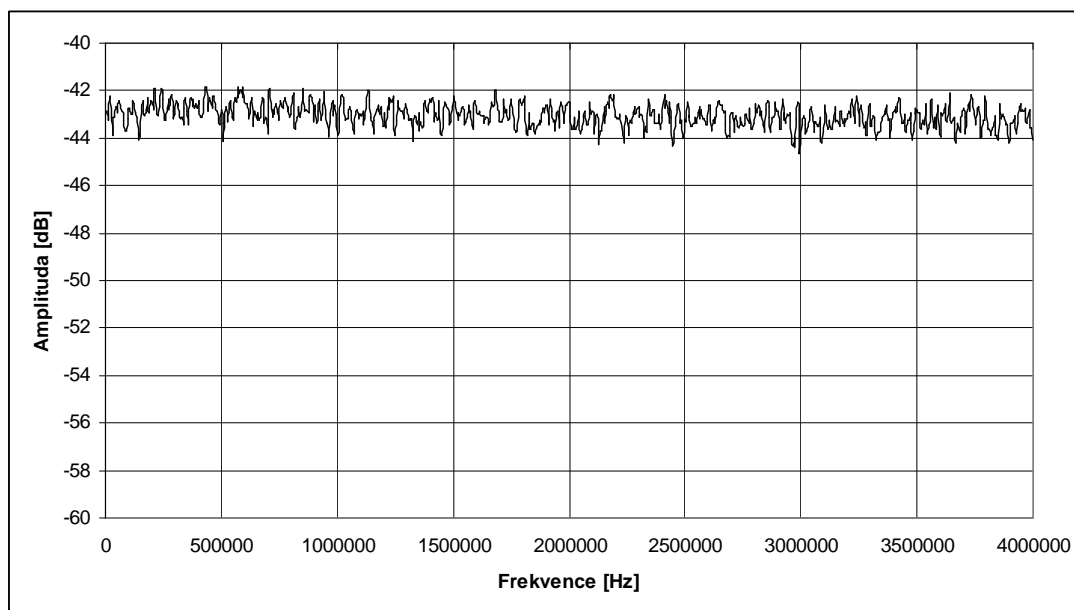
Obrázek 7.1 Schéma zapojení měření

### 7.2 NASTAVENÍ PARAMETRŮ MĚŘENÍ

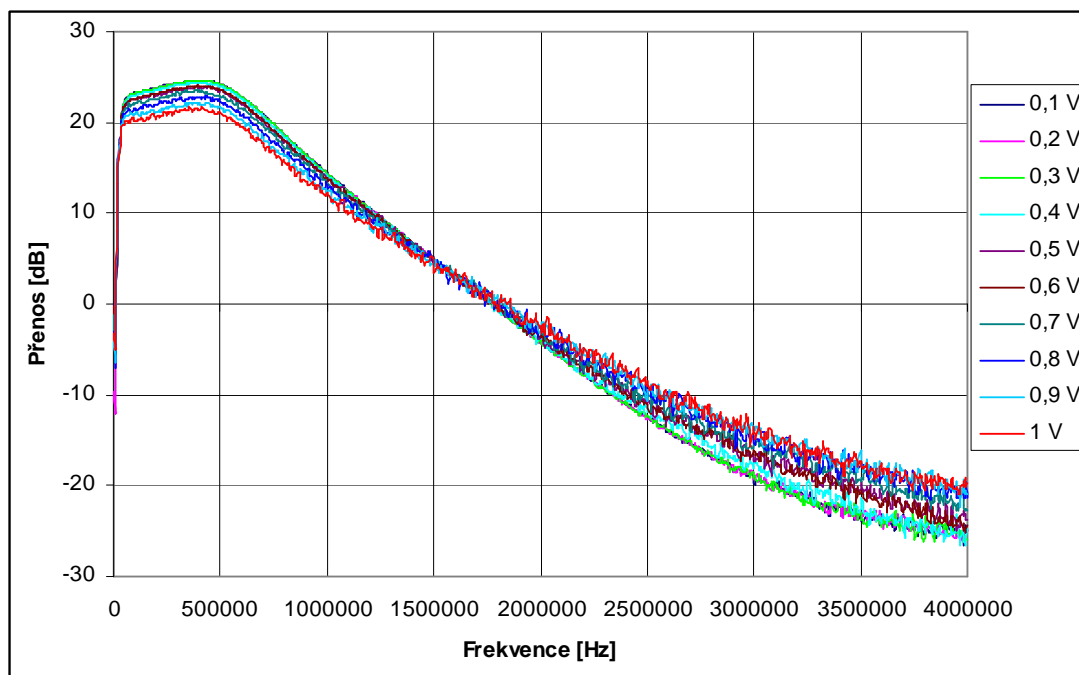
1. Nastavení analyzátoru do vektorového režimu s měřením amplitudového spektra na kanálech 1 a 2 s impedancí  $50 \Omega$ .
2. Nastavení frekvenčního rozsahu v rozmezí  $0 \div 4$  MHz.
3. Nastavení počtu frekvenčních bodů. Při použití obou kanálů je vhodné nastavení počtu bodů na hodnotu 801 s automatickým určením frekvenčního rozlišení.
4. Nastavení okna. Pro lepší frekvenční rozlišení při buzení šumem je nastaven typ okna *Hanning*.
5. Nastavení rozsahu vstupních kanálů. Je použito automatické nastavení pomocí funkce *Up down*.

6. Nastavení spouštění měření. V tomto případě měření je použit ke generování signálu vlastní zdroj přístroje a proto je nejvýhodnější zvolit spouštění od interního zdroje.
7. Nastavení budícího signálu. Pro generování bílého šumu je třeba zvolit typ signálu *Random Noise* s amplitudou, která se bude měnit v rozsahu  $0,1 \div 1$  V po kroku 0,1 V.
8. Nastavení průměrování. Pro zvýšení přesnosti měřených výsledků je nastaveno průměrování typu *RMS exponential* z 50 měření a pro rychlejší měření je zapnuto rychlé průměrování se zobrazením každého desátého průměru.
9. Nastavení výpočtu frekvenční charakteristiky. Protože je pro buzení zesilovače použit bílý šum, frekvenční charakteristiku lze získat vydělením spekter výstupního a vstupního signálu použitím matematické funkce.

### 7.3 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY



Obrázek 7.2 Spektrum vstupního signálu s amplitudou 1 V



**Obrázek 7.3 Frekvenční charakteristiky zesilovače v závislosti na budícím napětí signálu**

Detailní zobrazení frekvenční charakteristiky je obsaženo v příloze A.

#### 7.4 ZHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Zesilovač se využívá k zesílení signálu ze snímačů akustické emise s využívaným frekvenčním rozsahem od 0 - 1 MHz. Z naměřených charakteristik je zřejmé stabilní zesílení v pásmu 0 - 750 kHz, při zvyšující se frekvenci do již nevyužívaných hodnot zesílení klesá do záporných hodnot.

Při budícím signálu o amplitudě vyšší než 0,8 V dochází k saturaci zesilovače a výstupní signál je zkreslován.

## 8. ZÁVĚR

Během tvorby bakalářské práce coby obslužného softwaru spektrálního analyzátoru HP 89410A byly rozšířeny mé znalosti o principech měření amplitudových spekter s využitím analyzátoru. Také byly získány nové poznatky a zkušenosti grafického programování v prostředí LabVIEW.

S pomocí přiloženého uživatelského manuálu byly zvládnuty základní nastavení analyzátoru pro jednoduché měření amplitudových spekter a pochopeny jednotlivé parametry ovlivňující rychlost a přesnost měření. S těmito zkušenostmi a dostupnými ovladači byl vytvořen zadaný obslužný software.

Analyzátor se s pomocí GPIB-USB převodníku připojuje k počítači přes USB rozhraní. Programem lze ovládat analyzátor ve skalárním a vektorovém režimu, přičemž je možné uložit naměřené charakteristiky nebo konfiguraci přístroje do souborů na pevný disk počítače. Uložená data je možné načíst a prohlížet či je dále zpracovávat po převedení hodnot z textových souborů do programů typu MS Excel.

Základní funkčnost programu byla ověřena provedením validačního měření frekvenční charakteristiky zesilovače v závislosti na napětí budícího signálu, pro detailní otestování závislostí mezi všemi parametry by bylo nutné provést více typů měření s různými požadovanými výsledky.

K lepšímu využití analyzátoru by bylo výhodné do programu implementovat další funkce analyzátoru, např. mód analogové demodulace nebo diagnostiku případných vzniklých chyb v průběhu měření, což by byl vhodný námět pro diplomovou práci.



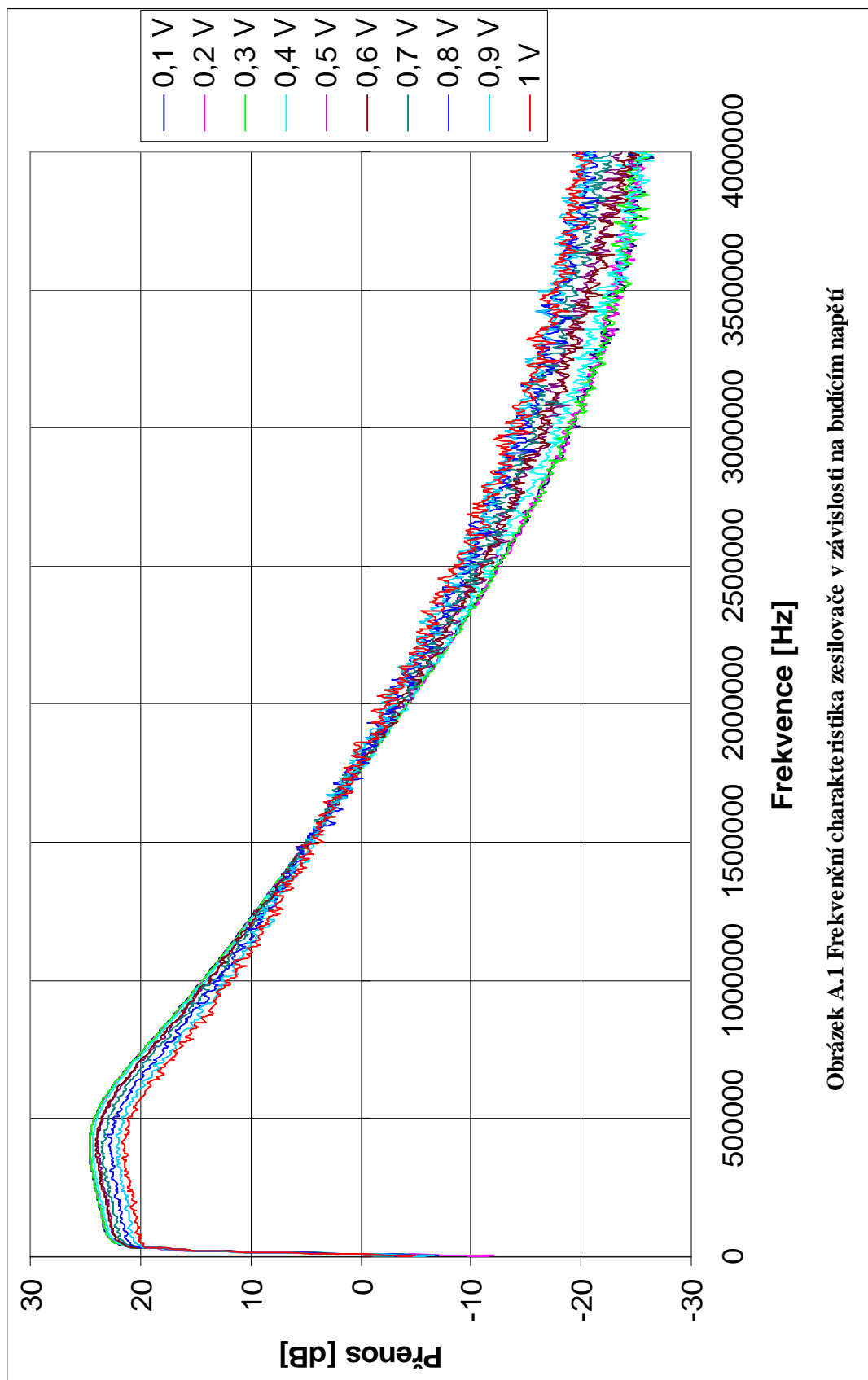
## 9. LITERATURA

- [1] *Agilent Technologies 89410A/89441A Operator's Guide* [on-line]. U.S.A.: Washington, Hewlett-Packard Company, May 2000. Dostupné na internetu:   
<[http://www.home.agilent.com/agilent/redirector.jsp?action=ref&cname=AGILENT\\_EDITORIAL&ckey=1000002074%3Aepsg%3Aman&lc=eng&cc=US&nfr=-11143.0.00](http://www.home.agilent.com/agilent/redirector.jsp?action=ref&cname=AGILENT_EDITORIAL&ckey=1000002074%3Aepsg%3Aman&lc=eng&cc=US&nfr=-11143.0.00)>.
- [2] *Time Capture Capabilities of the Agilent 89400 Series Vector Signal Analyzers* [on-line]. U.S.A., Hewlett-Packard Company, Sept. 2000. Dostupné na internetu:   
<[http://www.home.agilent.com/agilent/redirector.jsp?action=ref&cname=AGILENT\\_EDITORIAL&ckey=1000000127%3Aepsg%3Aapn&lc=eng&cc=US&nfr=-11143.0.00](http://www.home.agilent.com/agilent/redirector.jsp?action=ref&cname=AGILENT_EDITORIAL&ckey=1000000127%3Aepsg%3Aapn&lc=eng&cc=US&nfr=-11143.0.00)>.
- [3] ČEJKA, Miloslav. *Elektronické měřicí přístroje* [on-line]. Brno: FEKT VUT, 2002
- [4] *Agilent Technologies 89400-Series GPIB Command Reference* [on-line]. U.S.A.: Washington, Hewlett-Packard Company, May 2000. Dostupné na internetu:   
<[http://www.home.agilent.com/agilent/redirector.jsp?action=ref&cname=AGILENT\\_EDITORIAL&ckey=1000002075%3Aepsg%3Aman&lc=eng&cc=US&nfr=-11143.0.00](http://www.home.agilent.com/agilent/redirector.jsp?action=ref&cname=AGILENT_EDITORIAL&ckey=1000002075%3Aepsg%3Aman&lc=eng&cc=US&nfr=-11143.0.00)>.
- [5] JAN, J. et al. *Číslicové zpracování a analýza signálů* [on-line]. Brno: FEKT VUT, 2003
- [6] STEINBAUER, M. et al. *Měření v elektrotechnice* [on-line]. Brno: FEKT VUT, 2002
- [7] ŽÍDEK, J. *Grafické programování ve vývojovém prostředí LabVIEW* [on-line]. Ostrava: VŠB-TU, 2002 [cit. 2007-12-18]. Dostupné na internetu:   
<[http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/faq/labview/VI\\_Skripta.pdf](http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/faq/labview/VI_Skripta.pdf)>.
- [8] Více než 20 let inovací LabVIEW. *Automatizace* [on-line]. Říjen, 2007, roč.50, č.10, str.673. Dostupné na internetu:   
<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1925>

## **10. SEZNAM PŘÍLOH**

**A. FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKA ZESILOVAČE.....51**

**B. CD S ELEKTRONICKOU VERZÍ VŠKP**



Obrázek A.1 Frekvenční charakteristika zesilovače v závislosti na budícím napětí